

长 江 水 利 水 电 科 技 史 料 之 六

长 江 科 学 院
河 流 泥 沙 研 究 的 发 展

长 江 科 学 院

1988 · 8 武 汉

编 者 的 话

《长江科学院河流泥沙研究的发展》是长江水利水电科技史料之六，也是《长江志》的一部分内容。河流泥沙研究是我院主要专业之一，设置早，历时长，工作面广，经过三十多年的艰苦创业，努力工作，以及在长办内部和国内有关部门的协助下，取得丰富的研究成果，为长江水利水电建设作出了贡献，部分成果还在国内外进行了交流。

“存史备查、总结经验，激励将来，再攀高峰”，是本“史料”编写的目的。通过阶段性的记述和总结，可以更好地评价成功与不足之处，明辨方向，继续前进。1986年以来，在院统一安排下，河流研究室组织部分人员分工编写有关专文，由潘庆燊、罗海超、陈怀汲、张植堂汇总编辑，并由院副总工程师刘大明审阅而成。《长江志》科研编辑室刘振胜参加了部分编务工作。由

于内容较多，历年工作断续，人员变异，以及编辑组织水平等原因，各文繁简不一，附录成果项目及编写人员等也难免错漏，诚恳希望读者提出宝贵意见，以便修订、补充。

1988年8月 武汉

目 次

编者的话

导 言.....	唐日长	(1)
长江科学院河流研究室发展简史.....	陈怀汉 魏振钰	(3)
长江河流泥沙研究概况.....	陈怀汉	(6)
河流泥沙运动基本规律研究.....	张植堂	(23)
长江河流地貌研究.....	郭厚祯	(48)
长江中游荆江河段河床演变和整治研究.....	曾静贤	(66)
长江中游上荆江放淤工程试验研究.....	方良辉	(78)
长江中下游(城陵矶至江阴)河床演变研究	罗海超 周镇海	(83)
长江中下游(城陵矶至江阴)河道整治研究.....	罗海超	(95)
长江河口研究.....	李纯熙 史立人 沈惠漱	(117)
长江中下游护岸工程研究.....	吴中贻	(121)
水库长期使用问题研究.....	张植堂	(128)
水库变动回水区泥沙问题研究.....	庞午昌	(138)
水电站引水防沙问题研究.....	张植堂	(146)
河工模型试验研究.....	魏振钰	(157)
水库泥沙数学模型研究.....	梁栖蓉 黄煜龄	(181)
三峡水利枢纽坝区泥沙研究.....	潘庆燧	(188)
葛洲坝水利枢纽坝区泥沙研究.....	殷瑞兰 张政权	(191)

唐 日 长

河流泥沙工程学是一门多学科综合型专业，它以水力学及流体力学为主，含河道整治工程学、水文学、地貌学等专业。河流泥沙工程学是开发利用河流水利资源，特别是研究解决河流中下游防洪、航运、城市建设、农田排灌以及大型水利枢纽的工程泥沙问题，一项很重要的专业。

河流特性决定于流域特性。河流泥沙工程学通过对流域特性的研究，认识流域对河流形成的来水、来沙和河床边界条件的关系，并研究在这些因素的综合作用下形成的河床形态、河道水流泥沙运动和河床演变规律。河流泥沙工程专业研究的根本任务是根据河流特性和国民经济建设的需要研究解决工程泥沙问题的工程措施或河道整治工程措施。

我国治河工程具有悠久的历史和丰富的经验。中华人民共和国成立前，长江已设站观测水文，开展水道地形测量，但资料短缺，无泥沙资料。建国以后，长江河流泥沙工程研究工作有计划地逐步展开。三十余年来，在长办、长科院领导的重视和指引下，有关单位的协作下，经过内外业全体同志的辛勤劳动，从长江河源到河口，开展了原型观测调查和科学试验研究，为长江水利资源开发利用，提供不少研究成果。这些研究成果中，不少项目已经工程实践检验，取得预期的效益。

本文集分专题记述建国以来长江河流泥沙工程研究的史实。

回顾三十余年来，我们的主要经验是注意发挥本专业多学科综合型的特点，科学研究紧密联系长江水利资源开发利用，坚持原型观测调查与室内试验研究相结合；今后应当注意从理论上总结前阶段实践经验，通过提高专业理论，更好地为开发长江水利资源提供研究成果。

长江科学院河流研究室发展简史

陈怀汲 魏振钰

中华人民共和国建立后，党中央为了保障人民生命财产和沿江城镇、工矿建设的安全，恢复和发展工农业生产，把防洪列为长江中下游水利建设的首要任务。关系到江汉平原数百万人民生命安全和农业生产的荆江大堤，则是确保的对象。为此，必须了解荆江河段防洪工程的历史和现状，研究荆江河道的情况，研究确保荆江大堤安全的措施。1953年，原长江水利委员会（以下简称长委会，系长江流域规划办公室的前身）主任林一山同志指示要进行荆江河道观测研究工作。同年冬成立荆江观测队，属原长委会中游工程局总工程师室领导，人员仅有唐日长、周镇海、张仲逵、张威、刘青云、宾景洁等六人，唐日长任队长，队部驻沙市，着手实地勘测荆江河道和荆江大堤堤基、堤身隐患和崩岸险情，收集历史和现况资料，研究整险措施，并拟定了《1954年荆江观测研究工作计划（草案）》。1954年3月，原长委会批准了该项计划，是为长江有计划地进行观测研究之始。1954年长江发生特大洪水，荆江观测队全体人员参加荆江大堤防汛抢险和荆江分洪。1955年中游工程局撤销，5月，荆江观测队并入沙市水文分站，归原长委会水文处领导，由沙市水文分站技术室主任唐日长兼任队长。同时，水文处设立河流研究组负责收集整理分析有关荆江及中下游河道的资料，包括历史资料文献，该组成员有周镇海、张仲逵、张威、宾景洁、李德邵、余传周、魏振钰等七人，魏振钰

任代理组长。鉴于1954年长江特大洪水之后，中下游观测研究任务日益增多，观测队伍相应发展，1956年河流研究组改为河道观测科，唐日长任科长，张侠任副科长，人员三十余人，负责全江河道观测业务管理和河道研究工作。此后，长江河道观测队伍及机构相继建立和发展。1956年荆江观测队改组为荆江河床实验站，正式成立南京观测队（今南京河床实验站前身），并在水文处直属的水文测量大队下设立河道观测队（即后来的汉口河道观测队）。1958年3月，为适应业务发展的需要，将水文处河道观测科改组为水文处河流研究室，唐日长为主任，刘典任副主任，人员也略有增加，下设荆江、中下游、水库和河道观测四个专业组。至此，在长办水文系统初步组建成河道观测研究的专业队伍，担负着长江干流上起三峡下迄河口和支流汉江自丹江口水库库区到河口的观测研究任务。

1956年11月，长江水利水电科学研究院（以下简称长科院）水工研究室成立河工组，开展荆江河道演变及整治的试验研究工作，张智斌任组长，水工研究室副主任陈怀汲分管该组工作。

1959年底，水文处合并到长江水利水电科学研究院，改为长科院水文测验处。原水文处河流研究室与长科院水工研究室的水工组合并组成长科院河流研究室，唐日长任主任，雷开、邵静亚、陈怀汲为副主任。为筹建河工试验基地（地点在武汉市郊九万方）和改进试验仪器设备，增设了仪器设备专业组。1964年水文测验处从长科院分出，恢复为长办水文处，河流研究室仍留长科院，但河道观测业务则归属水文处管理。1973年中共长办临时委员会重新任命唐日长为河流研究室主任，陈怀汲、李纯熙、李培盛为副主任。为更有利于开展试验研究工作，1977年6月24日，河流研究室全部由长科院本部迁至九万方试验场。1978年李培盛调离，徐然瑛继任副主任。1981年唐日长调任长科院副总工程师。1984年1月，任命潘庆燧为河流研究室主任，殷瑞兰、唐

法贤为副主任。1985年6月，唐法贤调离，增补杨国炜、何秀龄为副主任。1986年8月，又增欧阳履泰为副主任。

随着长江水利水电建设事业的发展。河流研究室的任务日益繁重。七十年代以来，人员逐年有所增加，截至1987年底。全室在职职工110人，其中高级工程师16人。工程师23人。助理工程师24人。技术员7人。拥有实验大厅面积10000m²，大型浑水试验系统三套，玻璃水槽实验室一幢。

长江河流泥沙研究概况

陈 怀 汲

一、泥沙来源及特性

(一) 悬移质泥沙

长江悬移质泥沙主要来源于宜昌站以上的山地丘陵区，宜昌站悬移质多年平均年输沙总量五亿吨以上，居世界大河输沙量的第四位。

长江科学院河流研究室根据长江上游干、支流测站的实测资料进行了长江上游悬移质泥沙的来源、数量及物质组成等特性方面的分析研究。

1969年7月—1970年10月，河流研究室配合有关单位对长江上游129个测站（岷沱江区29站、嘉陵江区43站、金沙江区33站、长江上游干流区13站、乌江区19站）的泥沙资料进行了整理。整理的原则是集水面积比较大的干、支流主要控制站和流量系列较长、沙量系列在四、五年以上的都进行整理，流量系列不长而沙量系列不足4—5年者，一般都未整理。对长江上游侵蚀模数只统计了岷江、沱江、嘉陵江分区的侵蚀模数，整个三峡以上地区侵蚀模数图未作。初步查明，水土流失最严重地区为嘉陵江区略阳以上的西汉水顺利峡，其侵蚀模数为 $3830t/km^2 \cdot a$ 。

70年代以来长江上游产沙问题，不仅水利部门重视，而且农

林、土壤和生态环境等方面也非常关注，担心长江变成“第二条黄河”。河流研究室1980年在系统整理长江上游实测泥沙资料的基础上，查勘了流域内若干典型地区，搜集了流域产沙要素资料，对长江上游悬移质泥沙的来源、特性、近期来沙量的变化及流域产沙特点作了进一步的研究。长江上游以宜昌站代表，多年平均年输沙量为5.15亿吨、(1950—1980)。其中金沙江悬移质泥沙占上游来沙总量的46.7%，嘉陵江占上游来沙总量的30.9%。长江上游干、支流主要控制站年平均含沙量按年代统计，除乌江武隆站70年代平均值略高出50年代平均值外，其余干、支流7个主要控制站70年代年平均含沙量均小于50年代。产生上述现象的重要原因之一是长江上游气候温和湿润，有利于植被生长和恢复，泥沙输移比小，70年代降雨量普遍比50年代降雨量少和水库、梯田、塘堰等拦沙作用等综合的结果。根据长江上游干、支流300多个泥沙测站中的145个测站的长系列实测泥沙资料点绘了长江上游侵蚀模数等值线图。长江上游的多年平均流域侵蚀模数为 $511\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 。由于地质、地貌、水文气象、植被土壤、人类活动不同，长江上游侵蚀模数的分布是不均匀的，大致可以分为弱产沙区 ($<200\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$)、中度产沙区 ($200—500\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$)、次强产沙区 ($500—1000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$) 和强产沙区 ($>1000\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$) 四个区。强产沙区为西汉水、白龙江、青衣江上游、大渡河中下游和金沙江下游地形陡峻、构造复杂、暴雨集中泥石流多发及毁林开荒严重地区，其面积约 70000km^2 ，占宜昌以上流域面积的7%左右，其产沙量却占上游总产沙量的1/3左右。

80年代初河流研究室与南京大学地理系合作，对长江全流域的悬移质泥沙物质组成进行了研究。从长江干、支流水文测站中选择有代表性的19个控制站的悬移质泥沙实测资料进行采样分析。干流12个采样点（直门达、石鼓、朱沱、寸滩、万县、宜昌、新厂、螺山、汉口、大通、徐六径），支流7个采样点（岷

江的高场、沱江的李家湾、乌江的武隆，嘉陵江的北碚、汉江的仙桃、湘江的湘潭、赣江的南昌)。分别选用1980年6—10月各站的混合样品，按一般常规方法分析粒径，其中 $d < 0.002\text{mm}$ 部分用X射线衍射分析， $d = 0.025\text{mm} \sim 1.0\text{mm}$ 部分进行镜鉴， $d > 0.25\text{mm}$ 部分还加做磨圆度及颗粒形态分析。长江悬移质泥沙基本由 1mm 以下的颗粒组成，其中粉沙质沙占50%左右，砂质粉沙占35%左右，含泥沙质粉沙占15%左右。悬移质泥沙粒径自上游向下游明显变细。粒径区间的粗、细部分含量百分数变化幅度较大，中间部分含量百分数变化幅度较小。其多年平均级配与多年汛期平均级配十分接近，悬移质泥沙平均粒径枯季普遍大于汛期。经初步综合鉴定，长江悬移质泥沙系由60余种含矿物和20种岩屑组成，是一种以石英、长石为主、种类繁多、硬度 ≥ 5 、矿物含量达80%左右、磨圆度以棱角状为主、在化学风化中很稳定的泥沙群体。长江悬移质泥沙化学组成及泥沙微量元素的组成受物源的影响。对长江悬移质泥沙中粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的部分进行X射线衍射分析，结果表明其中主要粘性矿物有：伊利石占70%左右，绿泥石、高岭石各约占10%，蒙脱石约占4%，其中蒙脱石有向下游递增的趋势，伊利石则有向下游递减的趋势，绿泥石和高岭石的含量比较稳定。

(二) 沙质推移质

由于沙质推移质采样器性能的限制，长江干支流水文测站中开展沙质推移质测验的测站较少，研究工作也相应少些。1973年河流研究室与长办水文处合作对宜昌站实测底沙资料进行了分析，提出了《宜昌站实测底沙测验资料分析和沙质推移量的初步估算》研究报告。

河流研究室与南京大学、长办水文处、长办勘测处合作分别于1973年和1974年两次对万县~宜都上沙湾间16个采样点的卵石推移质和沙质推移质进行了取样分析。1979年河流研究室与南京大学地理系合作，用岩性矿物分析计算法研究葛洲坝工程的坝区粗

沙来源和数量。长江上游的沙质推移质主要来源于：1) 秭归屈原庙以上的长江上游区，2) 以茅坪曲溪文昌阁为代表的黑云母石英闪长岩区，3) 以乐天溪为代表的斜长花岗岩区，4) 以小溪塔为代表的灰岩区。长江三峡自中生代燕山运动后，地壳经过较长期的自然演变，形成由粗粒状结构的花岗岩、石英闪长岩组成的黄陵背斜区风化壳，在支流及溪沟不断切割古风化壳的情况下带入长江，这部分粗颗粒的沙质推移质泥沙绝大部分是火成岩区古风化壳上的风化砂，硬度大，颗粒粗。通过粒配及岩性矿物分析，葛洲坝工程坝区粗沙 $d = 0.5\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 年平均数量约 $180 \times 10^4\text{t}$ ，其中约有90%~70%来自黄陵背斜补给区，这些沙质推移质的矿物组成中硬度大的石英、长石占50%左右。

1979年河流研究室进一步分析了1974年万县~宜都河段推移质野外调查时采集的沙样，认为长江在未流入三峡区以前 $d = 0.5\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 的粗沙含量很少，万县峨嵋碛仅占1.6%，进入三峡才开始增加，黄陵背斜区粗沙含量明显增加，秭归百岁溪占10.4%，茅坪曲溪粗沙达17.9%， $d = 1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 的粗沙有75.5%来自黄陵背斜区间。

(三) 卵石推移质

1959年12月~1960年1月，河流研究室与水利水电科学研究院、南京水利科学研究所、西北水利科学研究所、中国科学院四川分院、成都水电设计院、川江航道工程处、成都工学院、武汉水利电力学院、武汉水利工程学院等单位组成有17人参加的川江卵石问题查勘组，着重查勘了川江（大渡口~寸滩）、嘉陵江（澄江镇以下河段）、綦江、岷江都江堰等地的卵石推移质。1964年3~5月河流研究室、武汉水利电力学院河流动力学教研组及寸滩水文站共同查勘了江津至万县包括嘉陵江北碛~重庆的卵石洲滩。1965年3~5月河流研究室进行了岷江姜射坝、五通、福禄镇、千佛岩、利店、清水溪等河段的卵石推移质野外调查。1966

年河流研究室与长办水文处合作对川江、金沙江、岷江、沱江、嘉陵江、乌江、清江等河流进行卵石调查，并根据岩性统计资料计算了川江各主要支流卵石来量和南津关出峡卵石量。

为配合葛洲坝水利枢纽的设计，1973年由河流研究室、南京大学地理系、长办勘测处合作，1974年由河流研究室、南京大学地理系合作两次进行川江卵石调查，在万县~宜都366km干、支流的内卵石洲滩采样14处，采样 42m^3 卵石岩性分析约5万颗。计算出三峡出口下游宜昌站的卵石来自万县以上长江上游区的占16.7%，万县~奉节区间的占26.2%，奉节~香溪区间的占37.3%，香溪~宜昌区间占19.8%。

1976年3月清华大学水利系、长江航道局、河流研究室合作对葛洲坝枢纽库区奉节至香溪间的典型溪口滩及卵石推移质的运动规律和来石量进行了调查研究，重点调查了扇子碛和青竹标河段，对其它12个卵石洲滩、11条溪沟的卵石也作了一般的调查。并根据流域面积和岩性用类比法估算了35条溪沟的卵石输移量，整个区间卵石平均年补给量约 $18 \times 10^4 \text{m}^3$ ，卵石级配 $d_{50} = 40\text{mm} \sim 70\text{mm}$ 。

1979年河流研究室利用1973年、1974年野外卵石采样资料计算出葛洲坝多年平均卵石推移质数量为 $64 \times 10^4 \text{t}$ ，其中上游区汇入总量为 $10.7 \times 10^4 \text{t}$ ，万县~奉节 $16.8 \times 10^4 \text{t}$ ，奉节~香溪 $23.8 \times 10^4 \text{t}$ ，香溪~宜昌 $12.7 \times 10^4 \text{t}$ 。

二、泥沙运动研究

在生产任务带动科研任务，科研为生产服务的前提下，河流研究室自成立以来先后结合生产的需要开展了相应的专题研究工作。

为了配合三峡枢纽的设计需要，1959年河流研究室与水利水电科学研究院河渠所合作进行了川江的卵石调查和单颗卵石起动

流速水槽试验。1961年以后与武汉水利电力学院合作进行卵石成排列或不成排列两种条件下的卵石运动室内水槽试验研究。1962年河流研究室与武汉水利电力学院等单位合作综合野外及水槽试验资料提出卵石起动流速公式中的有关经验系数值。1964年河流研究室与武汉水利电力学院在查勘了江津~万县、北碚~重庆两个河段卵石运动的基础上,继续合作进行水槽卵石起动试验。1960年与水利水电科学研究院合作进行标记卵石运动试验,包括用同位素 ^{65}Zn 作放射源的野外试验。1964年河流研究室在岷江支流茫溪河野外水槽进行卵石起动试验。70年代初河流研究室分析水文测站实测资料,推导出沙质推移质和卵石推移质的起动流速公式。1979年河流研究室提出均匀沙和非均匀沙的起动流速公式。1980年根据卵石实测资料得出朱沱等5个测站的卵石推移质起动公式。1981年以来河流研究室对南津关出峡卵石数量和卵石跃高、悬移高度及在定床模型中进行卵石示踪试验的相似性等方面开展了研究。1978年编写成《泥沙运动统计理论》初稿。

在下荆江人工裁湾工程设计过程中为了探明人工裁湾引河的冲刷速度,河流研究室于1960年就上车湾裁湾引河原状土样,1965年就中洲子裁湾引河原状土样进行了粘土冲刷水槽试验。

从50年代末到80年代中,河流研究室先后为配合天星洲浅滩动床河工模型、葛洲坝枢纽坝区泥沙模型,分别就沥青木屑、滑石粉、电木粉、煤灰、离子交换树脂、核桃壳粉、聚氯乙烯等模型沙的物理、化学、水力特性等进行了系统的试验,为轻质模型沙的选择积累了资料。

从50年代后期以来河流研究室与河床演变分析计算有密切关系的水流挟沙力问题进行了研究。1956~1959年期间,用实测资料验证沙玉清水流挟沙能力公式,然后进一步从分析宜昌、陈家湾、沙市、新厂、监利等站实测水流挟沙力资料,求得荆江河段的水流挟沙力经验公式。1958年河流研究室有关人员在武汉水利

电力学院张瑞瑾教授指导下进行了野外资料的收集, 1959年在虎渡河布置水流挟沙能力观测, 并在该院进行水槽试验。1964年河流研究室在更广泛收集长江流域内外资料的基础上, 提出了床沙质泥沙的水流挟沙能力经验公式。1965年进行了丹江口水库水流挟沙力的研究。70年代在丹江口水库不平衡输沙原型观测的基础上, 提出了水库悬沙不平衡输沙计算方法、和异水流不平衡输沙问题的研究。1981年河流室提出床沙质水流挟沙力公式, 1986年提出长江下游床沙质挟沙力经验公式。

抛石护岸是长江中下游的主要护岸形式。从1961年开始, 河流研究室进行了抛石护岸室内水槽试验。对平顺护岸、丁坝护岸、矶头护岸附近上、下游水流和泥沙运动情况, 护岸工程块石位移的特性等方面, 取得了一些成果。

河流研究室根据陈家湾、汉口、南京等河段沙波观测的实测资料进行了有关沙波的研究。

三、河床演变及整治研究

(一) 江源考察

1978年河流研究室参加长江江源地区考察。该区位于青藏高原腹部, 东西长约400km, 南北宽约300km, 流域面积105127 km²。沱沱河、当曲和楚玛尔河是本区的三条主要源流。沱沱河长358km为长江正源, 流域面积16949km², 平均比降2.69%, 多年平均流量29.4m³/S。当曲长357km为长江南源, 流域面积30219 km², 平均比降1.62%, 推算年平均流量170m³/S左右, 楚玛尔河长530km为长江北源, 流域面积20909km², 平均比降1.27%, 多年平均流量8.4m³/S。江源河流可分为山区河流与高平原河流两类, 山区河流河谷横断面多呈谷底宽平的梯形和U形, V形谷不多见。高平原河流一般形成宽浅分汊、宽谷游荡性河流, 江源水系最终形成于中更新世, 河谷发育主要与高原的差异性构

造隆升及中更新世以来的三次冰川有关。

(二) 上游干流的演变与整治

1962—1963年间为研究三峡枢纽水库变动回水区泥沙冲淤对航道的影 响，河流研究室曾配合长办荆江河床实验站对重庆猪儿碛浅滩及奉节臭盐碛峡口滩(白马寺至白帝城长约 6 km 的河段)进行了观测研究。臭盐碛是川江受峡谷壅水影响冲淤变化最大的典型河段，汛期因峡谷壅水泥沙淤积达 1400—1800 万 m^3 ，原有主槽严重淤积，枯季转为冲刷先冲滩后冲槽，年内达到冲淤平衡。卵石推移质汛期输移量小，枯季大。

1983年以来河流研究室根据长江三峡水利枢纽工程泥沙问题研究工作协调会的安排，先后进行了变动回水区丝瓜碛、铜锣峡、重庆等河段的资料分析和泥沙模型试验研究工作。1985年河流研究室综合分析了交通部天津水运工程科研所、武汉水利电力学院及清华大学等单位有关三峡水利枢纽 150 米蓄水位方案变动回水区泥沙模型试验的成果，认为天然情况下变动回水区河段年内冲淤平衡，枯水河床多年变化不大；建库后变动回水区河段河势将有所调整，局部河段可能出现碍航，但可以通过整治或优化水库调度予以解决。

(三) 中游荆江河段演变与整治

1956年长办荆江河床实验站成立以来，对上、下荆江各典型河段进行了系统的以河床演变为中心内容的河道地形、水文泥沙等方面的观测。河流研究室配合该站共同进行了有关的分析研究工作。河流研究室委请并配合南京大学地理系进行荆江地貌研究。在对荆江河流地貌、河岸组成、河床演变、护岸段近岸河床演变等方面进行了系统的研究基础上，60年代还对蜿蜒性河段的形成条件进行分析和室内造床试验研究。1974年河流研究室提出了“荆江特性研究”报告，为整治荆江提供了基本依据。

保障江汉平原的荆江大堤，堤内地势低洼，堤身高 10 米以